

Entwicklungsarbeiten auf dem Weg zum 130 °C PEFC Stack

Erich Gülzow

Institut für Technische Thermodynamik

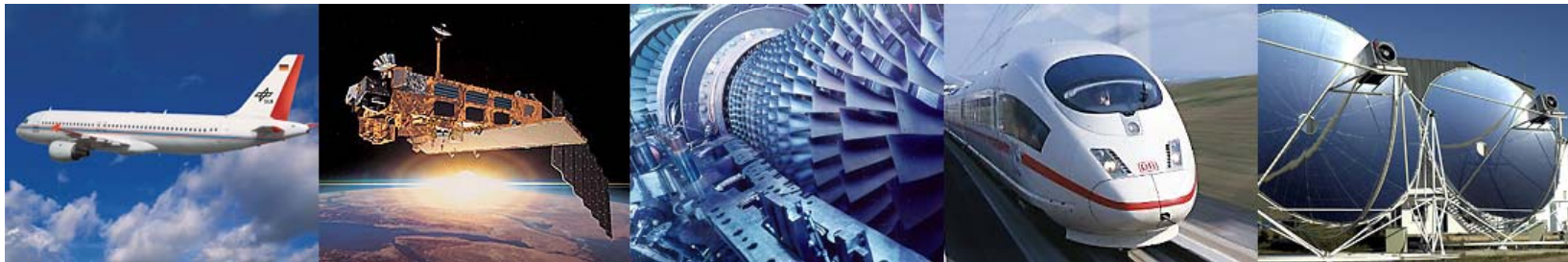
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Das DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt



- Forschungseinrichtung
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger

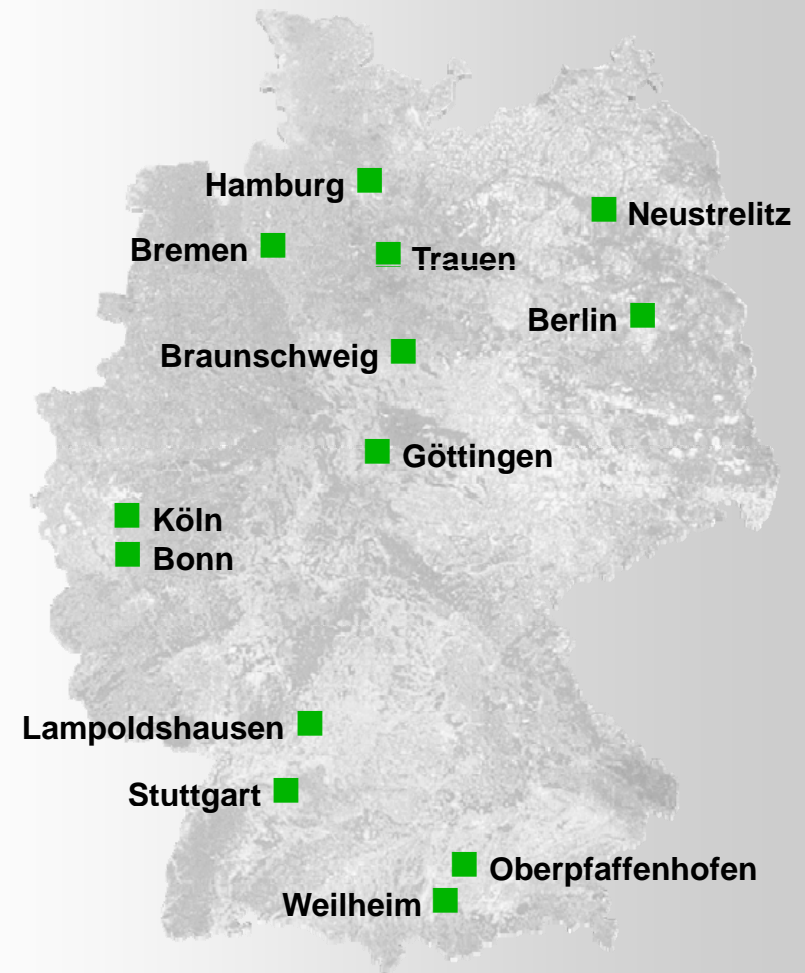


Standorte und Personal

➤ 6.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 33 Instituten und Einrichtungen in

➤ 13 Standorten.

➤ Büros in Brüssel, Paris und Washington.





Forschungsbereiche

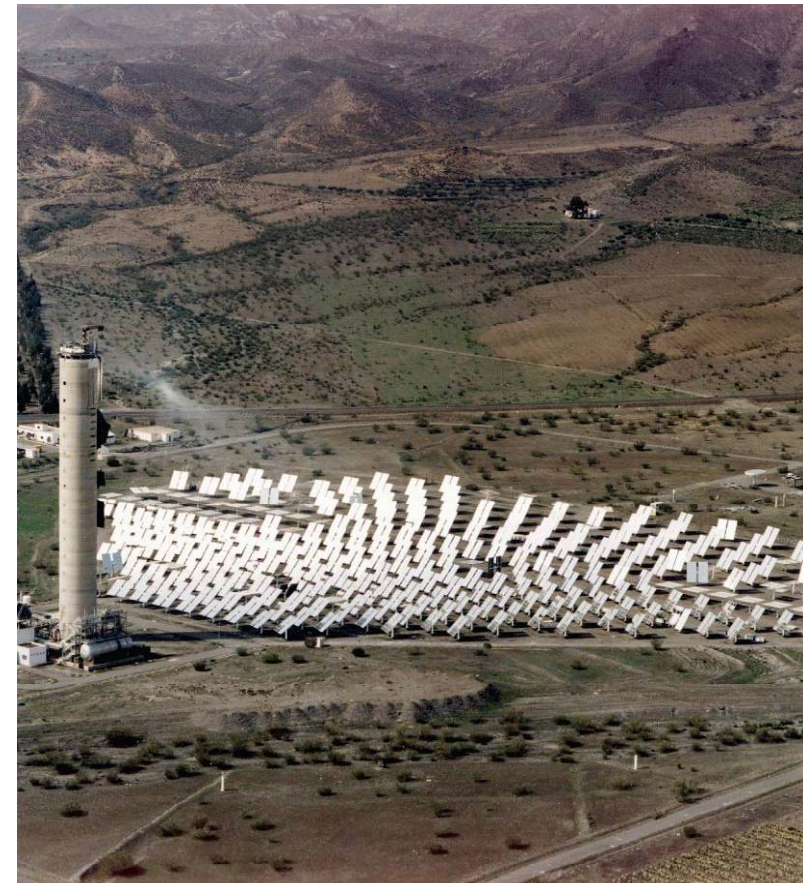
- Luftfahrtforschung und -technologie
- Raumfahrtforschung und -technologie
- Verkehrsforschung und -technologie
- Energieforschung und -technologie
- Raumfahrtmanagement
- Projektträger





Programmthemen der Energieforschung und -technologie

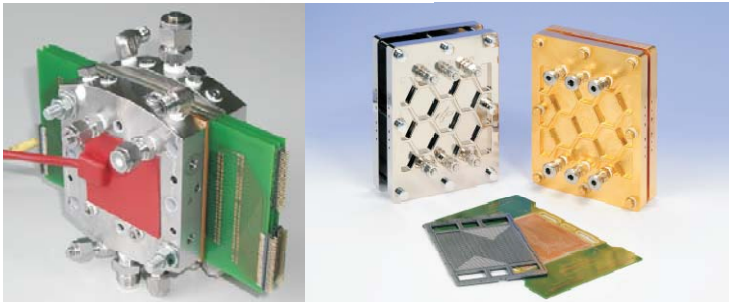
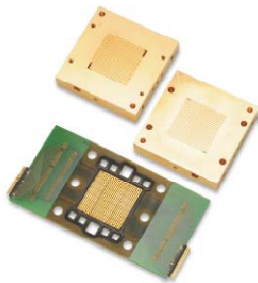
- Effiziente und umweltverträgliche „fossile“ Kraftwerke (Turbomaschinen, Brennkammern, Wärmeübertrager)
- Solarthermische Kraftwerkstechnik, Solare Stoffumwandlung
- Thermische sowie chemische Energiespeicher
- Hoch- und Niedertemperatur-Brennstoffzellen
- Systemanalyse und Technikbewertung



Institut für Technische Thermodynamik

Abteilung Elektrochemische Energietechnik

FG PEFC





Gliederung

- Motivation
- Entwicklungstools – Technologien

Segmentierte Messplatte

Untersuchung von Effekten
Stromdichte / Temperatur / Feuchte / Lambda etc.

EIS durch Lock In

- Stack Entwicklung
- Zusammenfassung



Warum 130 °C ?

- Größeres Betriebsfenster
- Einfachere Betriebsführung

Aber:

- Keine Anhebung der Feuchte
 - Keine Druckerhöhung
 - Keine Veränderung des Lambda
-
- Überwachung der ersten Stacks mit orts aufgelösten Messungen wie Stromdichte / Temperaturen / EIS

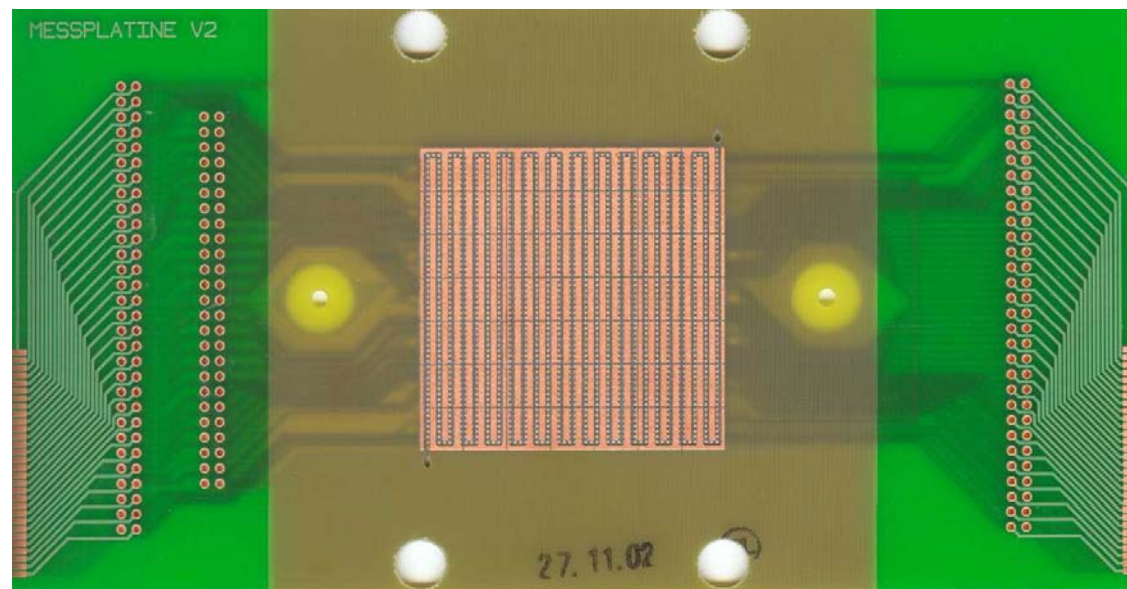


Segmentierte Zellen

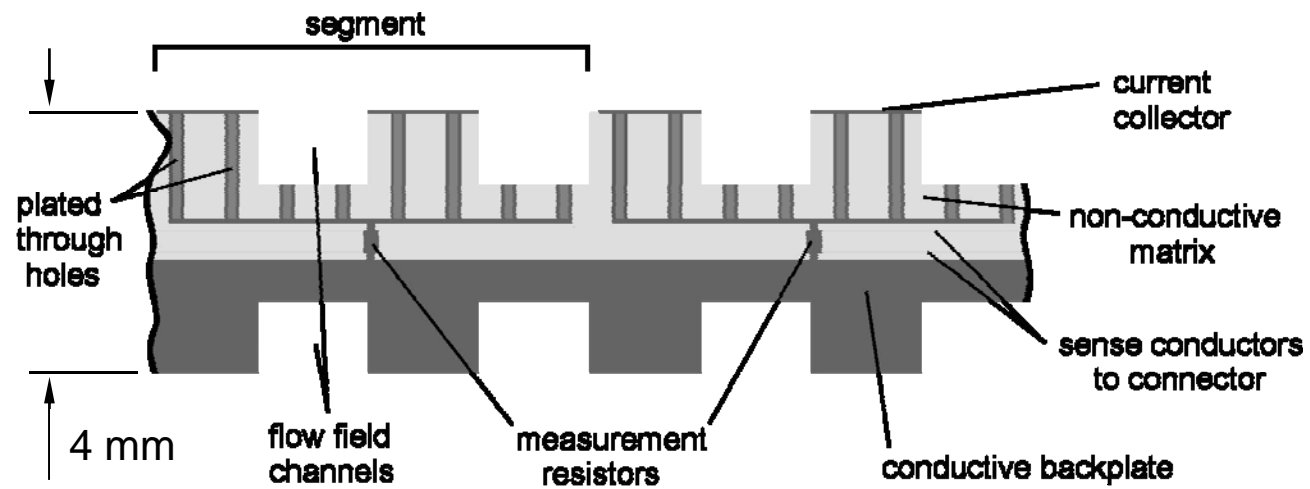
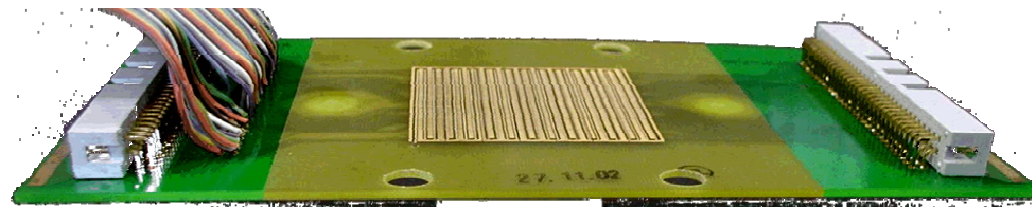
- Tools zur Optimierung von Designs und Betriebsparameter
- Identifikation von Fehlern und Aufklärung von Degradationsmechanismen



Bipolarplatte mit Widerständen in Platinausführung (PCB), neue Generation für Stromdichte-, Temperaturverteilungsmessungen und orts aufgelöste Impedanzspektroskopie

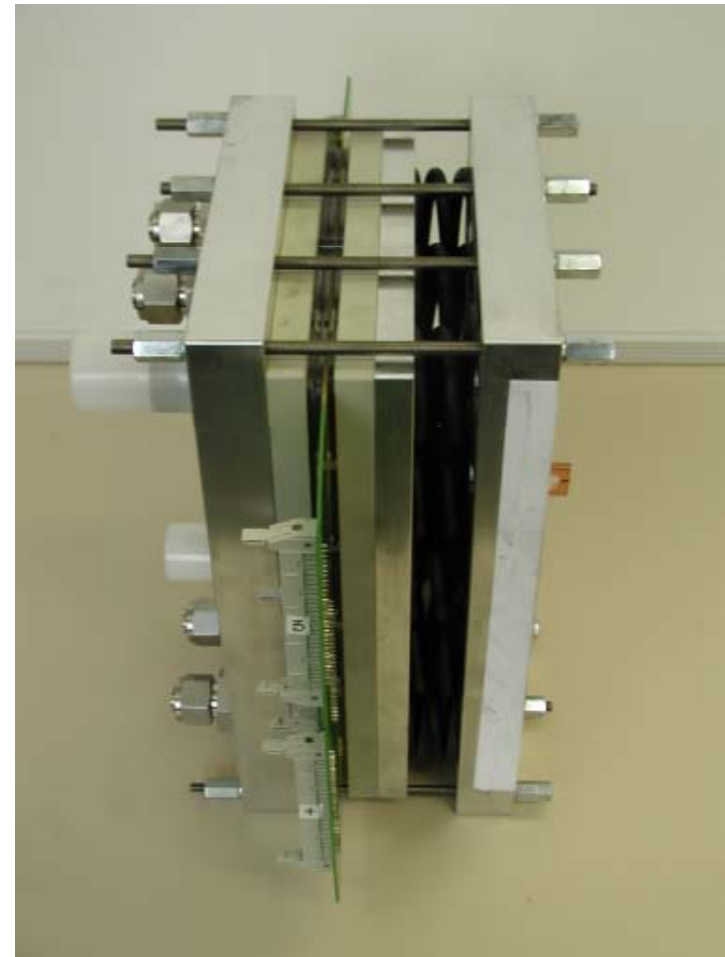
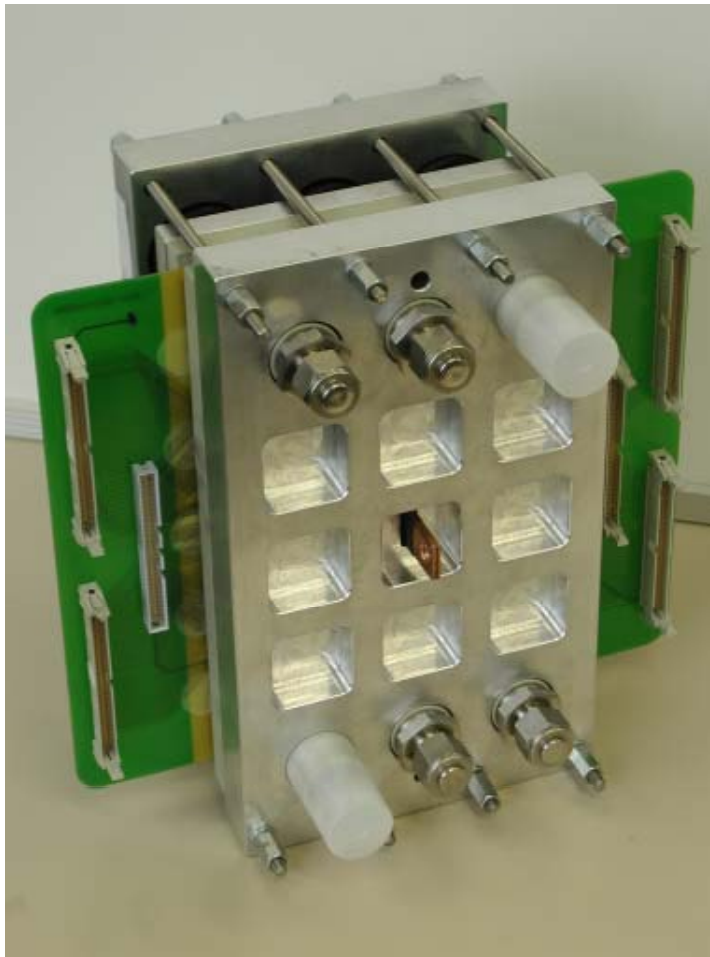


Messprinzip



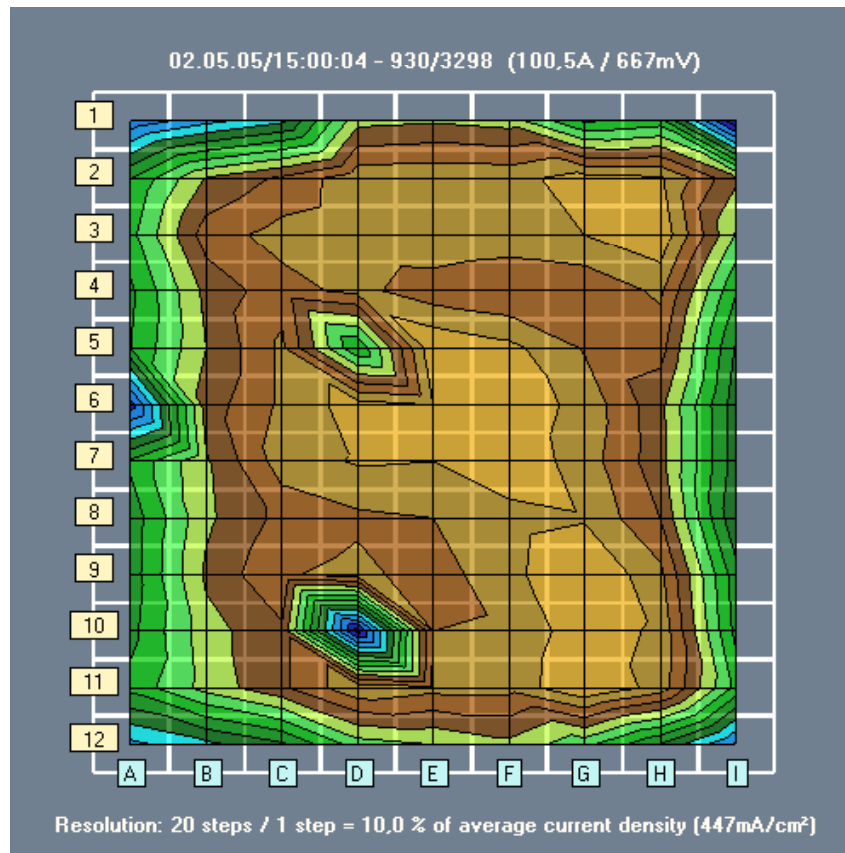


Segmentierte Platte in einem technischen Stack





Einfluss der Feuchte – Skalierte Stromdichte @ 100A, $\phi_{H2} = 90 / 0 \%$



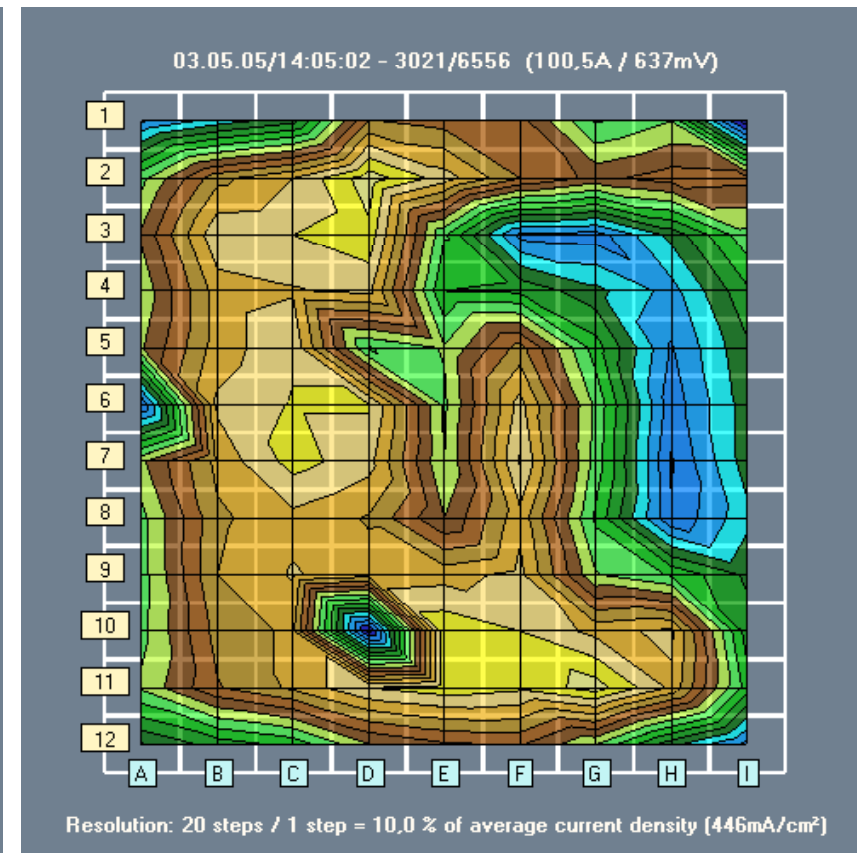
Cell Current = 100,5 A; Cell Voltage = 667 mV

Air: $\lambda = 2$; $\phi = 80 \%$ / H₂: $\lambda = 2$; $\phi = 90\%$

Cell Temperature = 65 °C



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Cell Current = 100,5 A; Cell Voltage = 637 mV

Air: $\lambda = 2$; $\phi = 80 \%$ / H₂: $\lambda = 2$; $\phi = 0 \%$



Innovationen an der segmentierten Messplatte 2010

- Erhöhung auf Betriebstemperaturen auf über **200°C**

Diese Platten können nun auch für die HT PEM eingesetzt werden, die oft in der Luftfahrt und bei den Automobilherstellern favorisiert werden

- Erstmalig **doppelte Platte**

Bisher wurde ein „halbe“ Bipolarplatte hergestellt, die mit einer herkömmlichen zweiten Hälfte kombiniert zum Einsatz kam. Mit der doppelten Platte konnte die Dicke einer realen Platte erreicht werden, sodass nun erstmalig der einfache Tausch möglich ist.

- Low Cost **Zwischenverstärker**



Verwendete Zelltypen zur Stackentwicklung

➤ **Einfachmäander**

Charakterisierung der Betriebszustände und Erklärung von Mechanismen mit einer Labortypischen Fläche von 25 cm²

➤ **Mehrfachmäander**

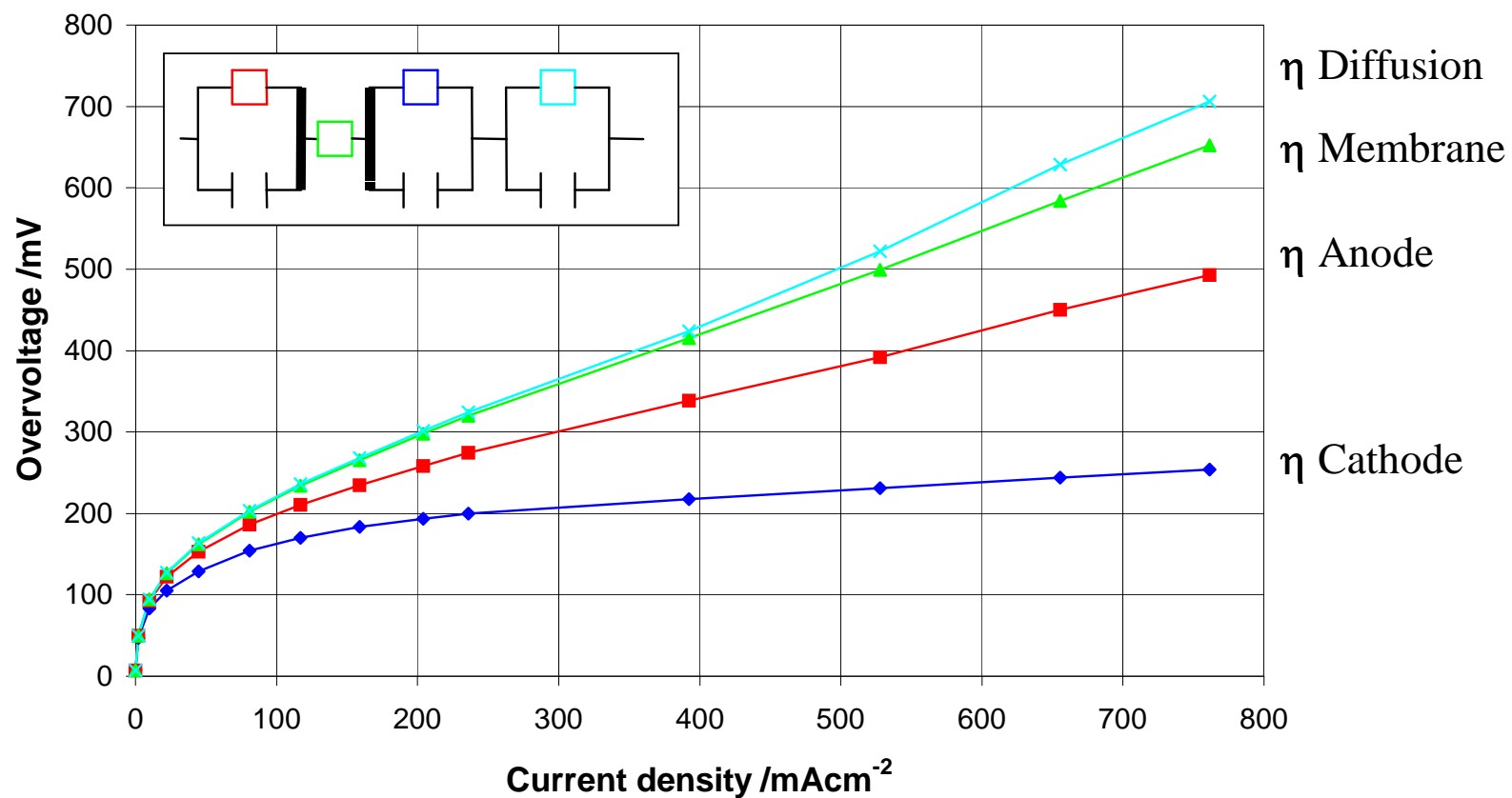
Übertragung der Ergebnisse vom Einfachmäander auch die stacktypischen Mehrfachmäander (Fläche 25 cm²)

➤ **Short-Stack (Ein- und Mehrzeller)**

Test der gefundenen Strategien im Stack mit technisch relevanter Fläche (>140 cm²)

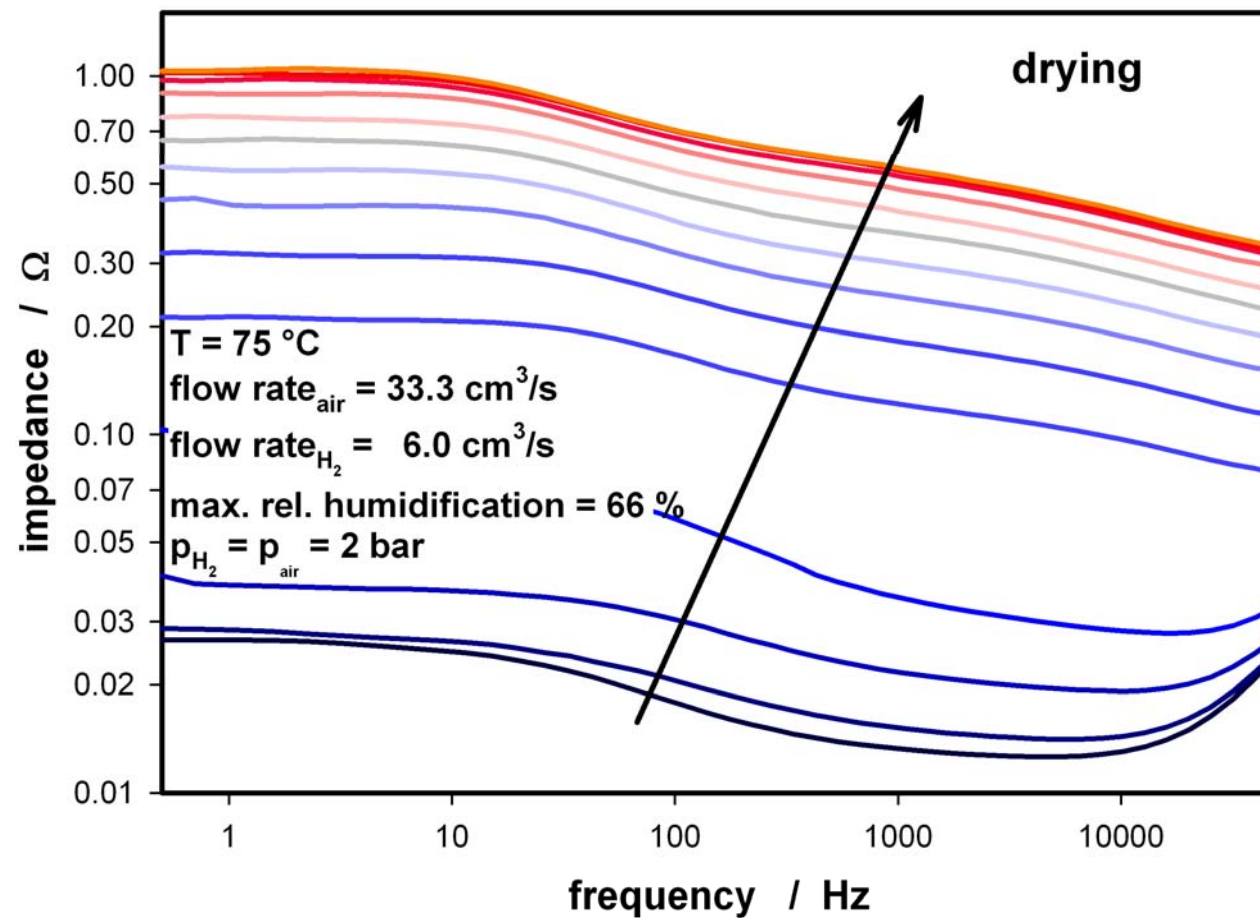


Impedance measurements at PEFC





Time resolved EIS during drying...Example for results of EIS





Hardware preiswerte lokale EIS

- Realisierung der **Lock In** Technik
- Aufbau eines Systems mit sieben Segmenten
- Integration in Testzelle mit optischer Spektroskopie



Ortsaufgelöste EIS mit PCB Technologie für Stromdichtemessungen

Probleme

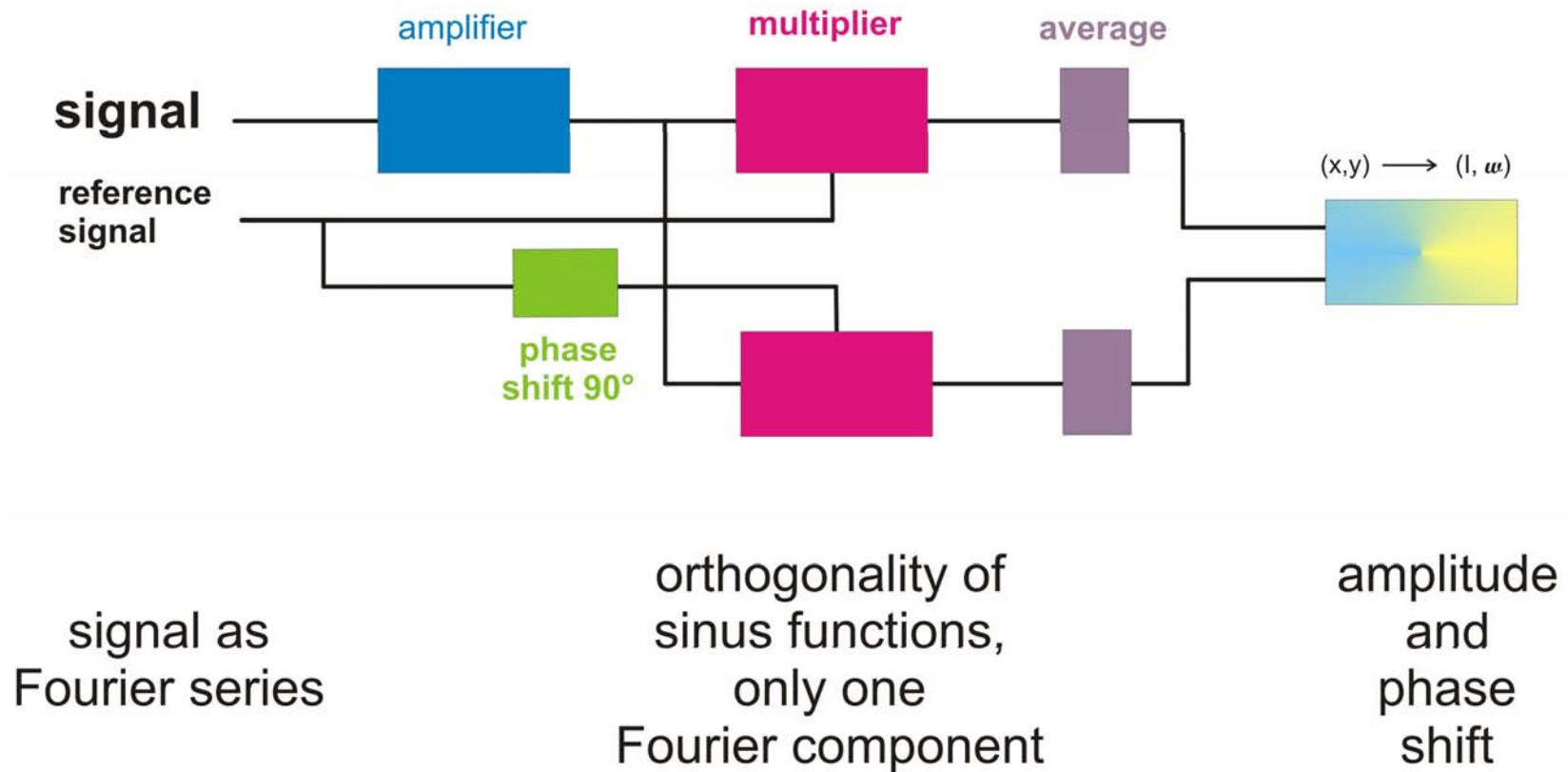
- Kleine AC Anregung + Signal vom PC Board ist auch klein
 - Signal für EIS Messungen sind sehr klein (nV bis μ V)
- Die AC über die gesamte Zelle
 - hohe AC Ströme bei großflächigen Zellen
 - Einfluss auf Nachbarsegmente

Lösungsansätze:

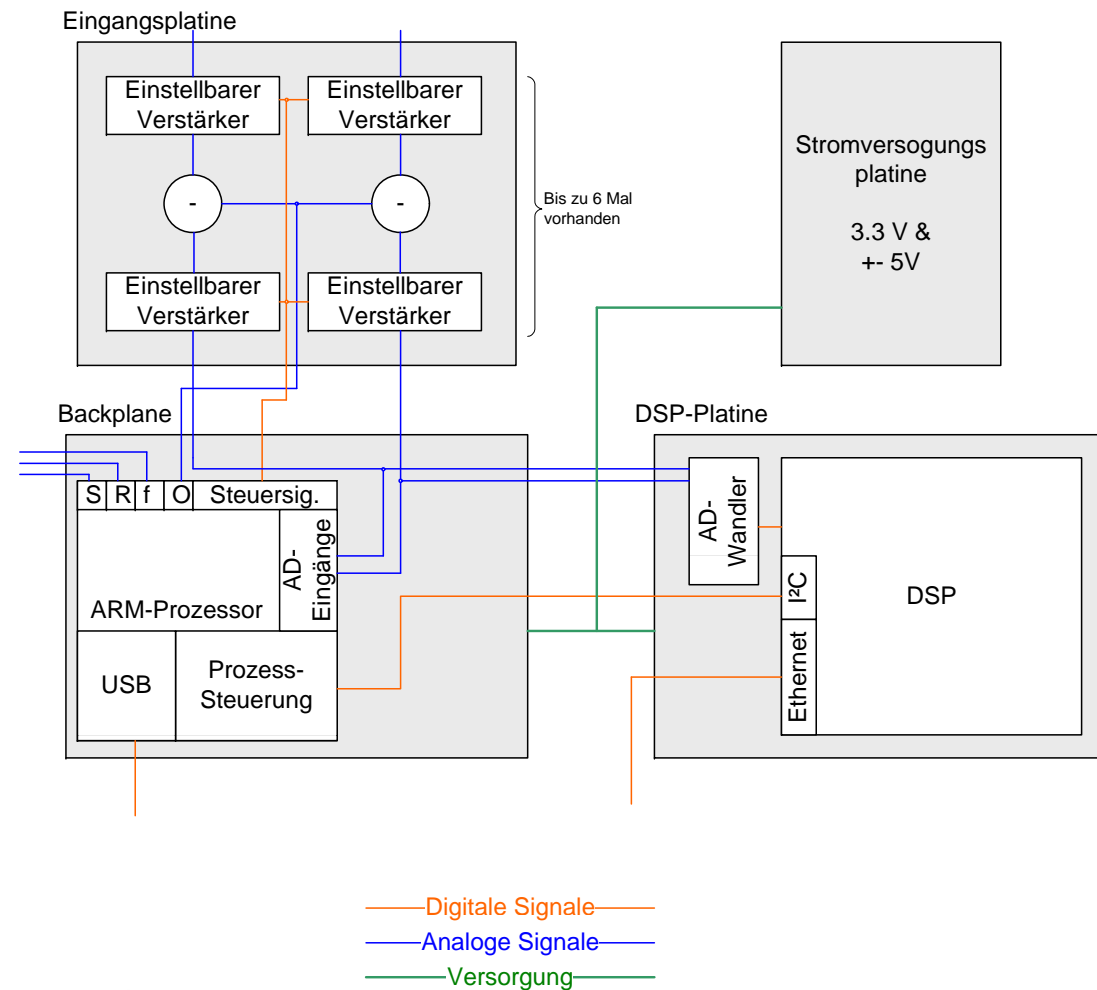
- Die Signal Verstärkung muss eine strikte Frequenz Selektion vornehmen, um das Rauschen zu eliminieren
 - Lock-in – Technologie stellt Amplitude und Phase direkt zu Verfügung und geht im nV Bereich



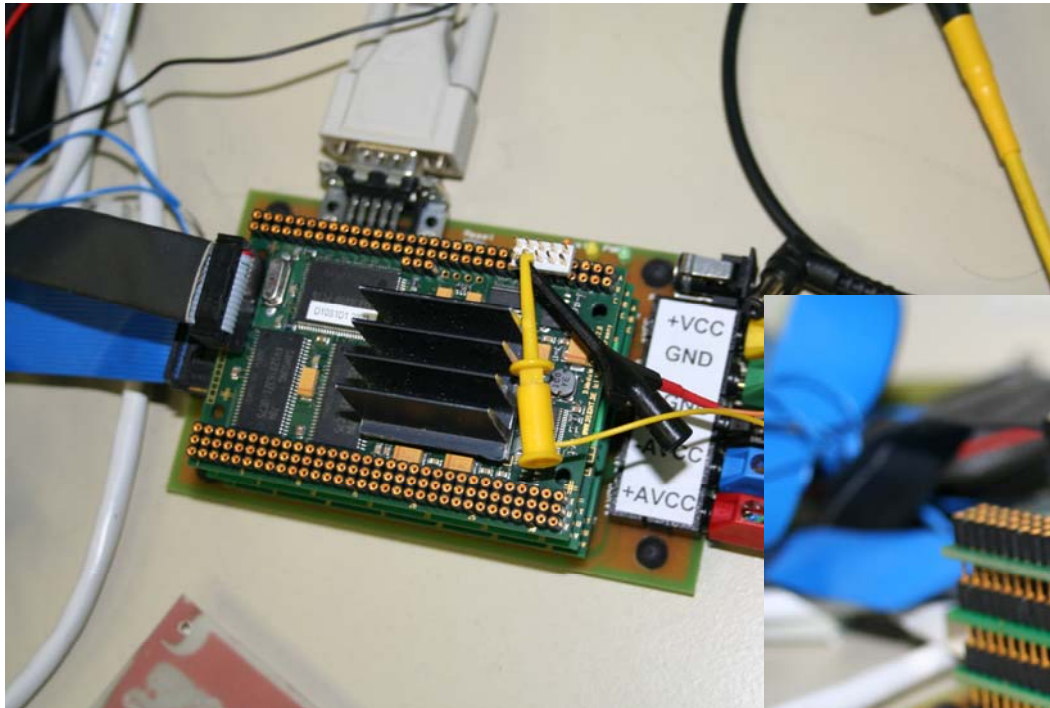
Principle of Look-In



Struktur der Hardware



Digitaler Signal Prozessor (DSP)

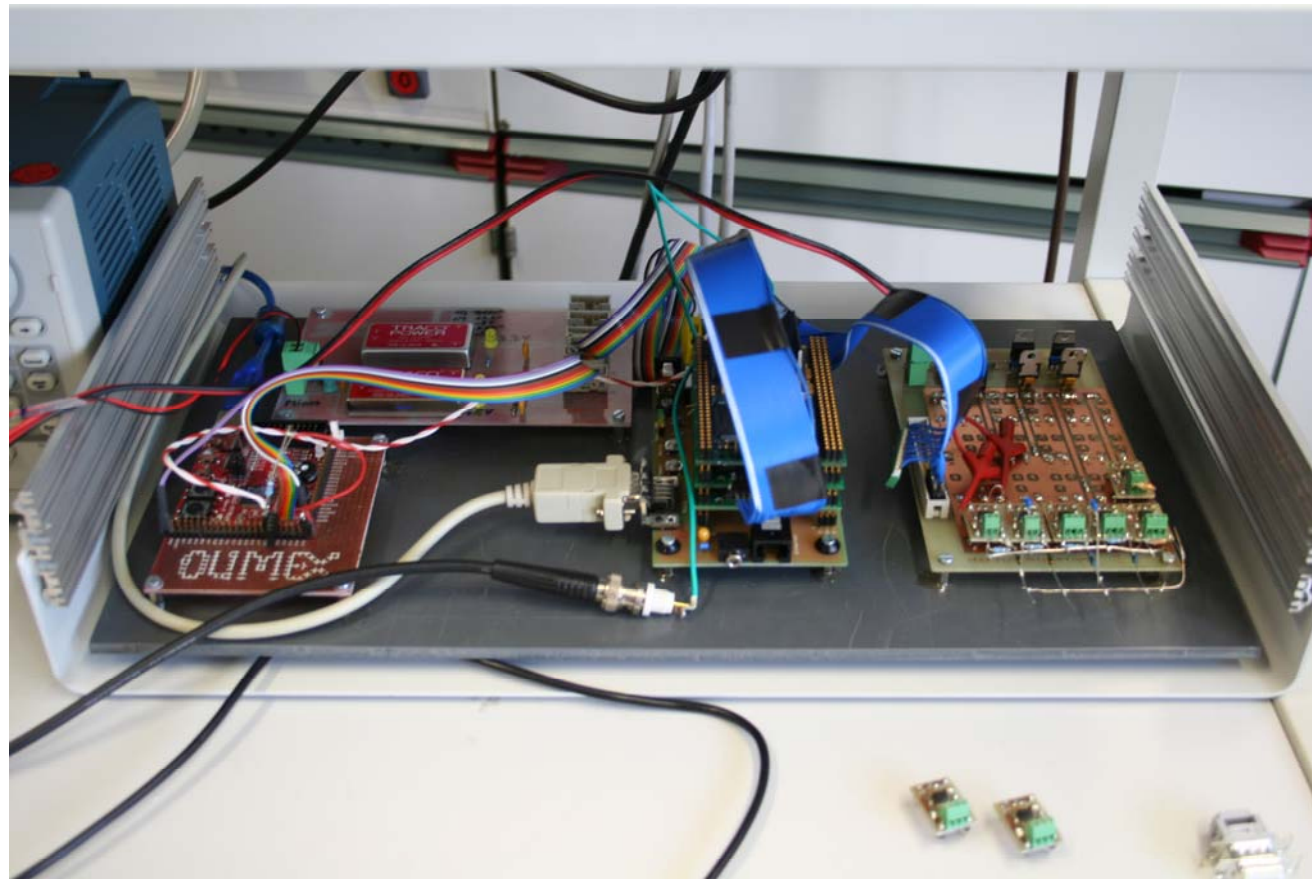


- DSP
- 6 Kanal Analog Card (A/D)
- Ethernet-interface
- Carrier



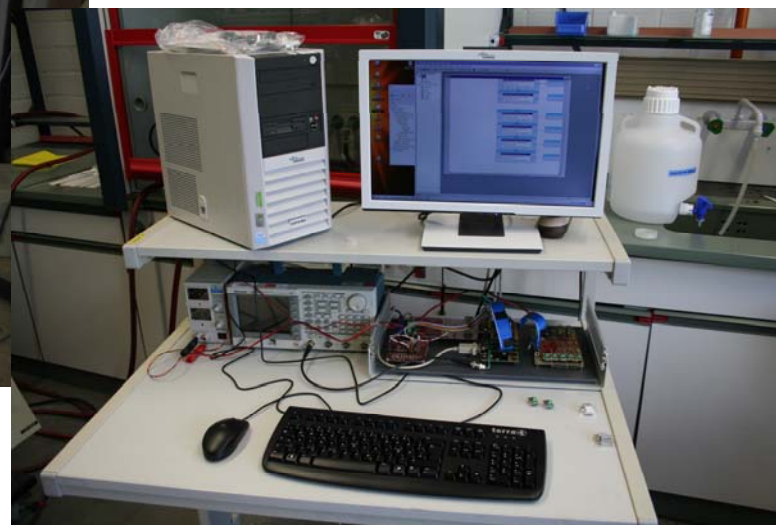
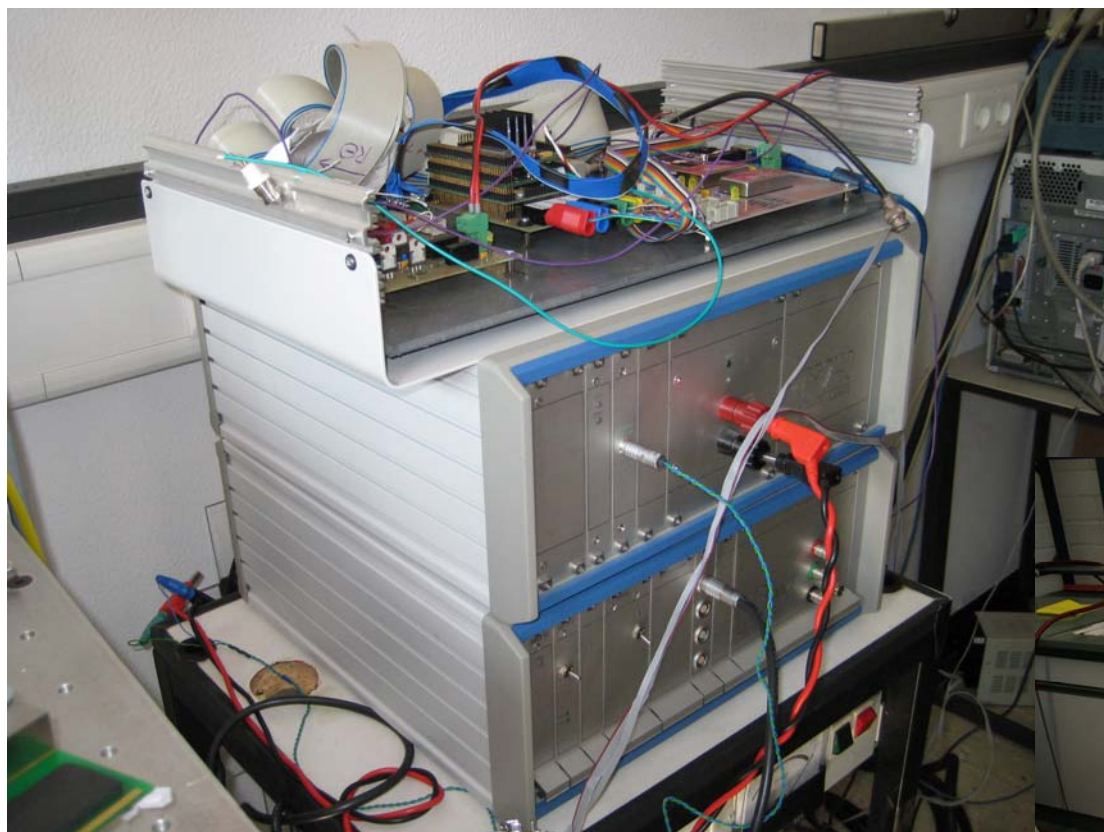


Test-set-up für 6 Kanal EIS System mit PCB Technologie für Stromdichte Verteilungsmessungen





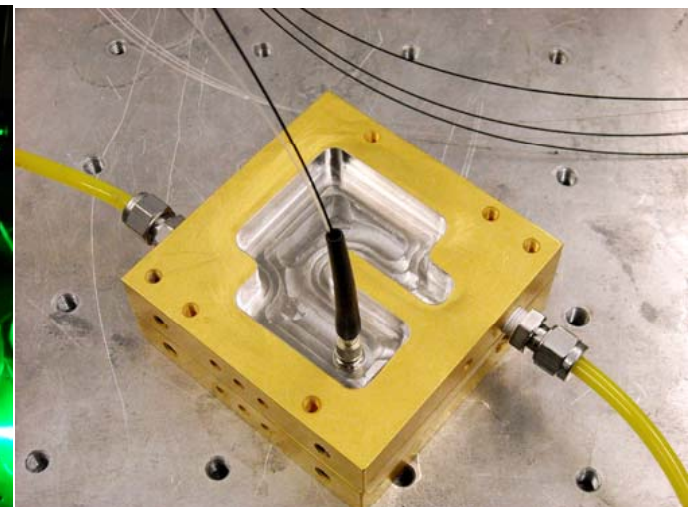
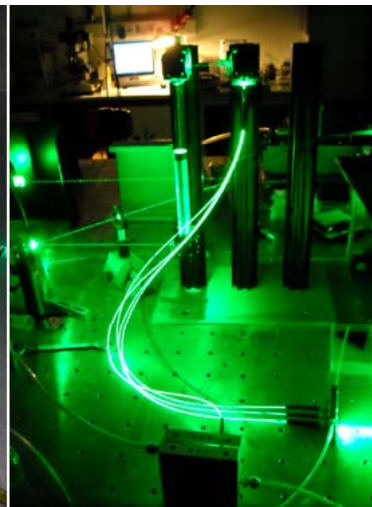
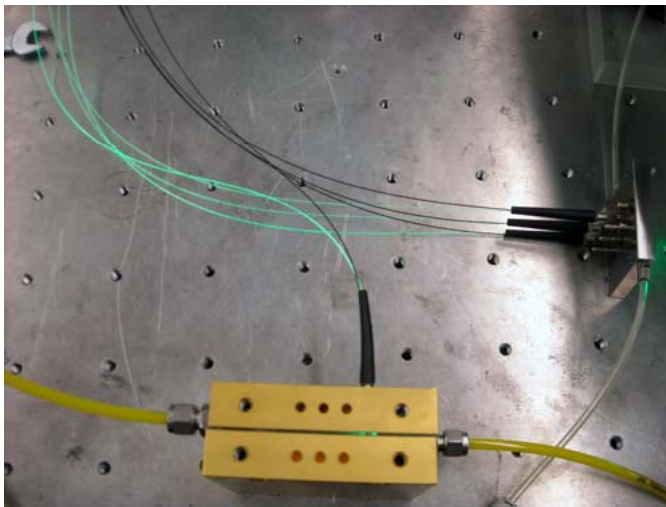
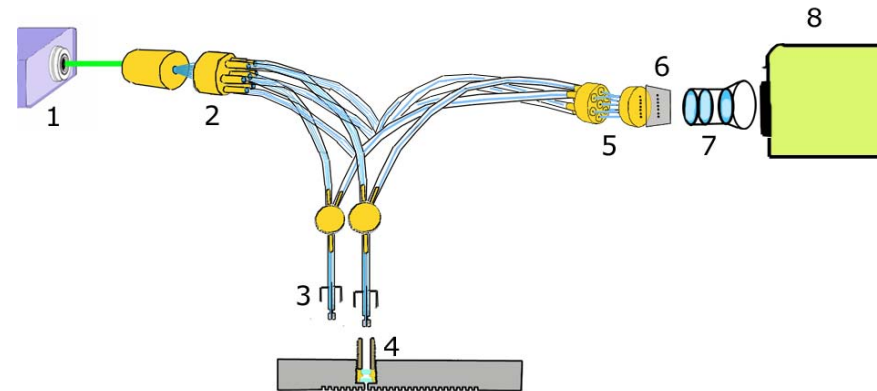
Lokale Elektrochemischen Impedanzspektroskopie



Lokal aufgelöste Raman Spektroskopie

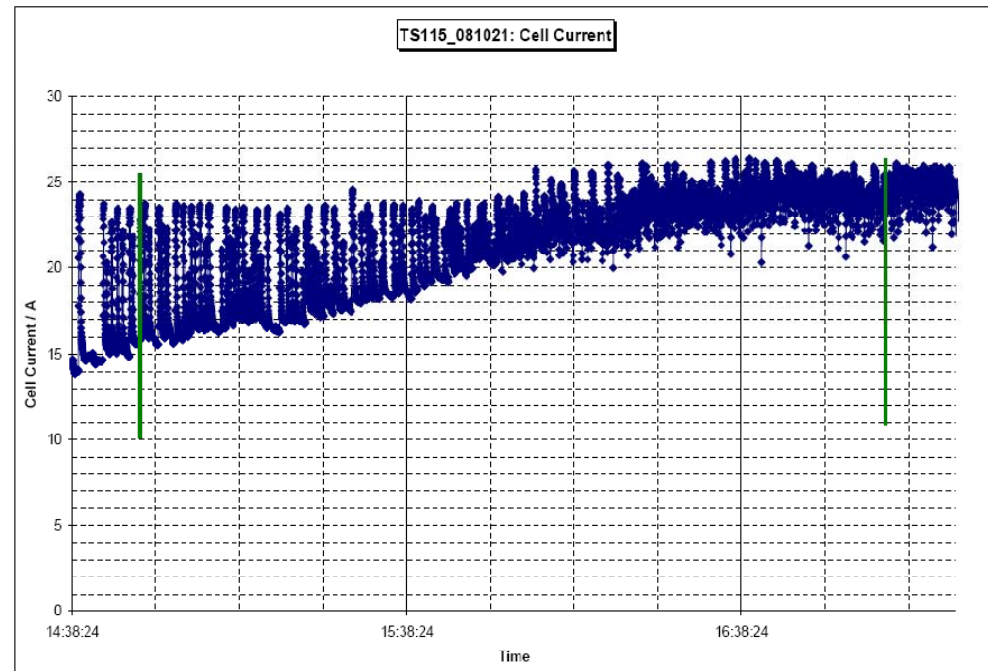
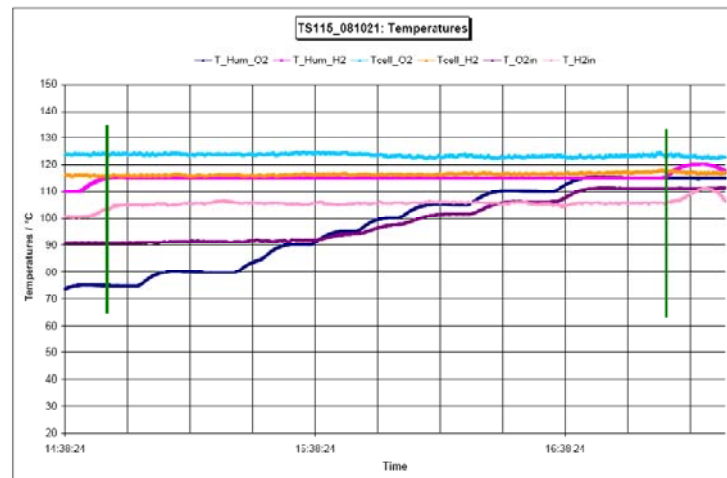
Zusammenarbeit HHUD und DLR

- Design / Adaption einer PEFC-Zelle an die Nutzung einer lokal aufgelösten Raman Spektroskopie





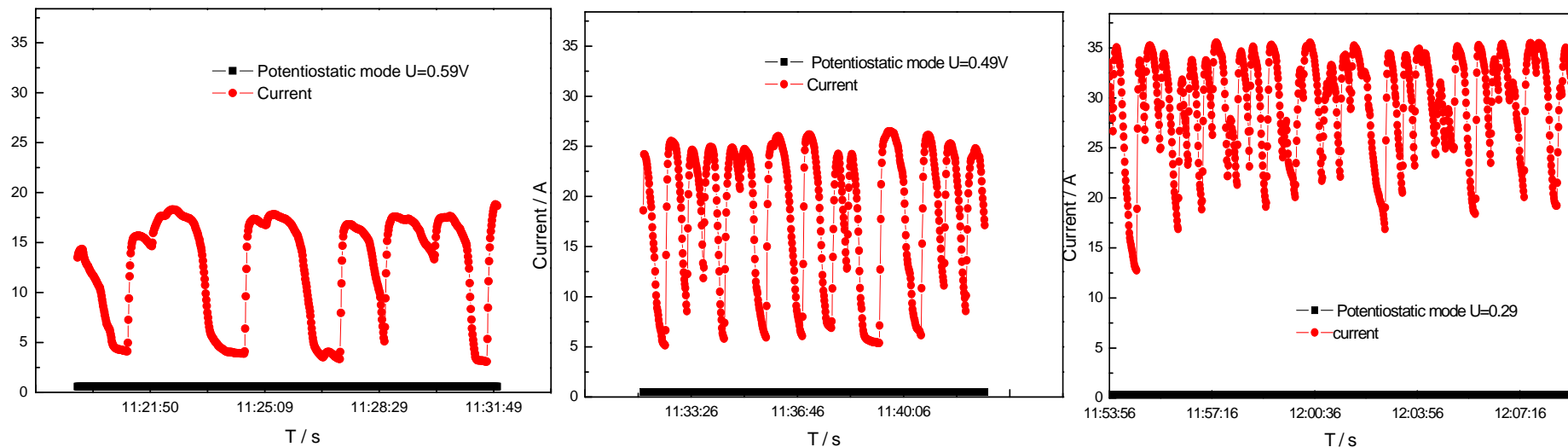
Ion Power MEAs: Instabilities at 120°C during increase of cathode humidification temperature



Current increased with increasing humidification temperature of the cathode. Above 100°C , the performance became unstable, peaks up appeared.

T cell– 120 °C; T humid Anode – 115°C; T humid Cathode – 75-115°C F air–900ml/min; F H₂–300ml/min.

Ion Power MEAs: Instability at 100°C and at different cell voltages



The frequency of current peaks increased with voltage decreased (under potentiostatic state)

$T_{\text{cell}} = T_{\text{humidification air}} = T_{\text{humidification H}_2} = 100^\circ\text{C}$; $P_{\text{air}} = P_{\text{H}_2} = 2 \text{ bar}$

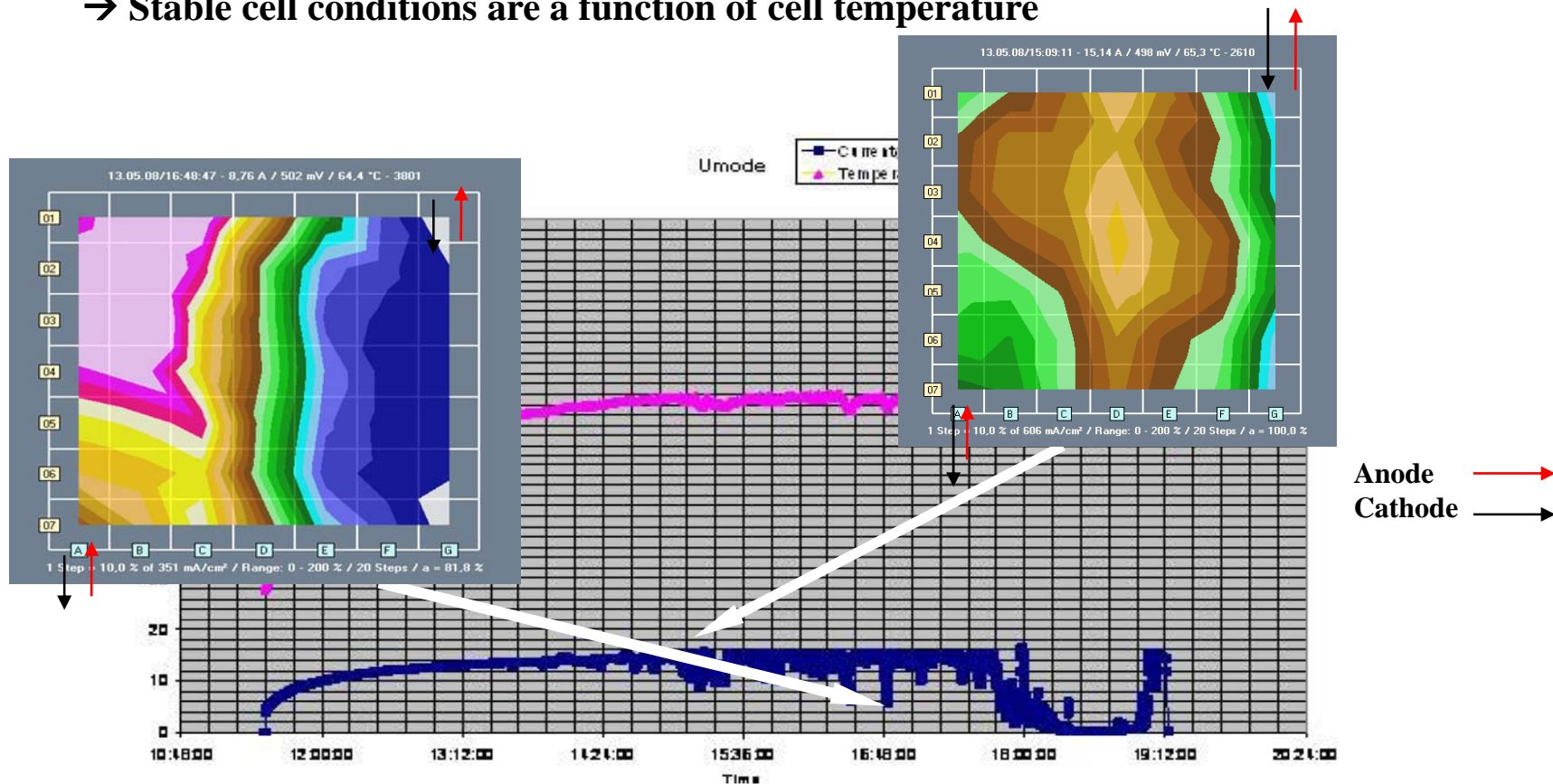


Investigation of Water Management

Cell operation without cathode humidification in potentiostatic mode at 500mV:

T_{cell} = variable, T_h = 80°C, Pressure=1200mbar, Flows: H₂=180ml/min, Air=560ml/min

→ Stable cell conditions are a function of cell temperature

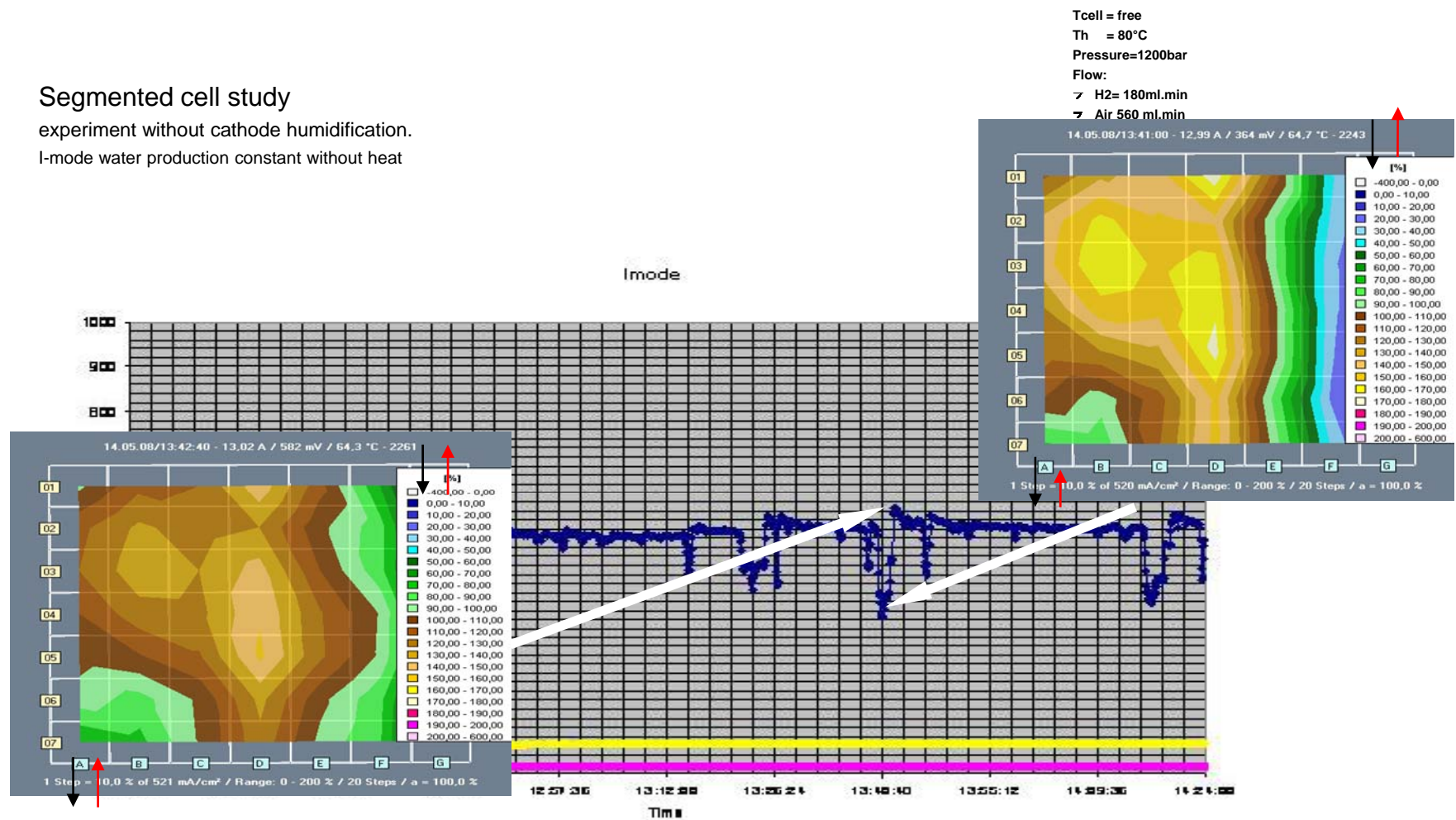


Investigation of Water Management

Segmented cell study

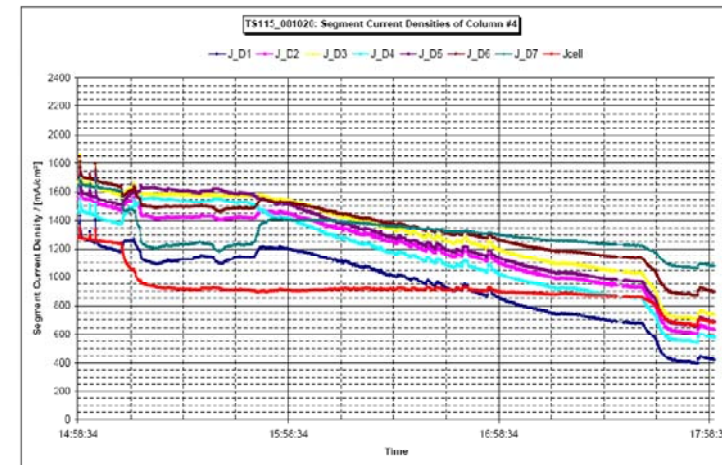
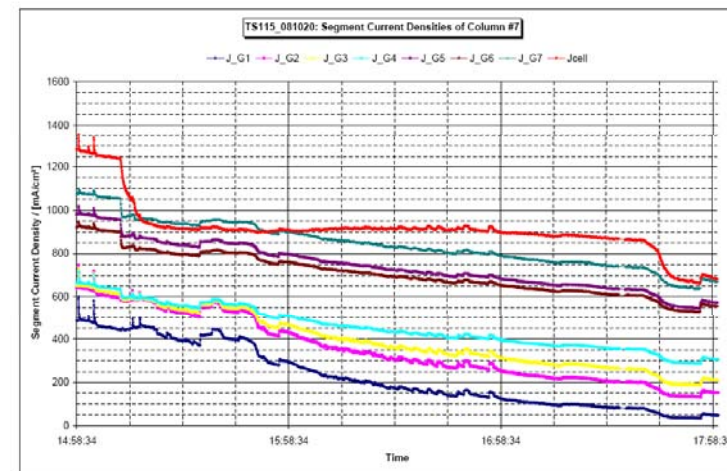
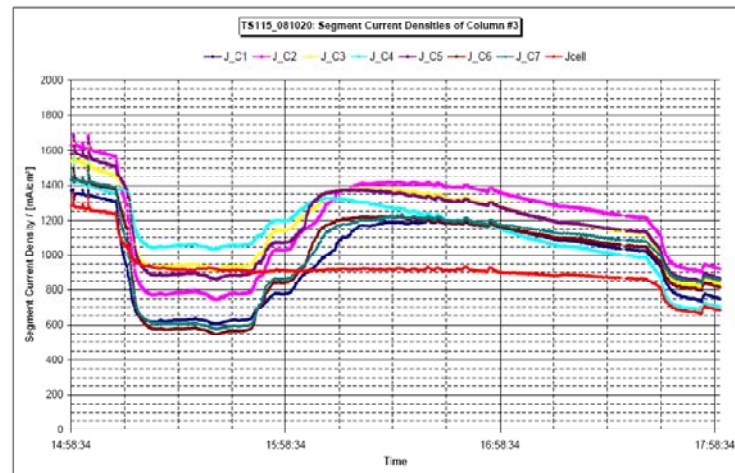
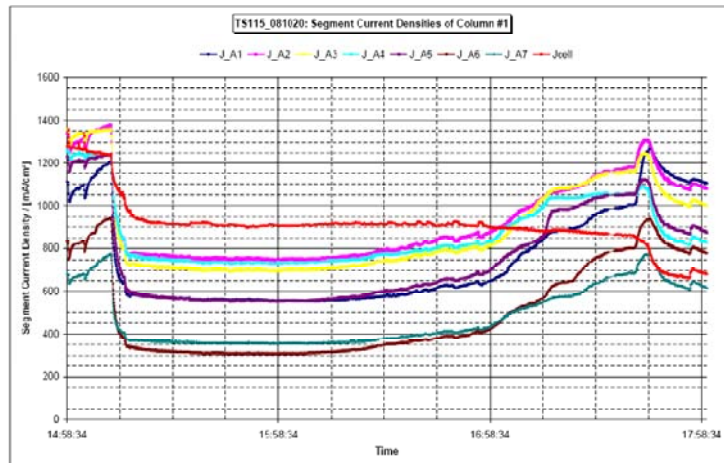
experiment without cathode humidification.

I-mode water production constant without heat



Ion Power MEAs: Current distribution / constant current

Outlet Region

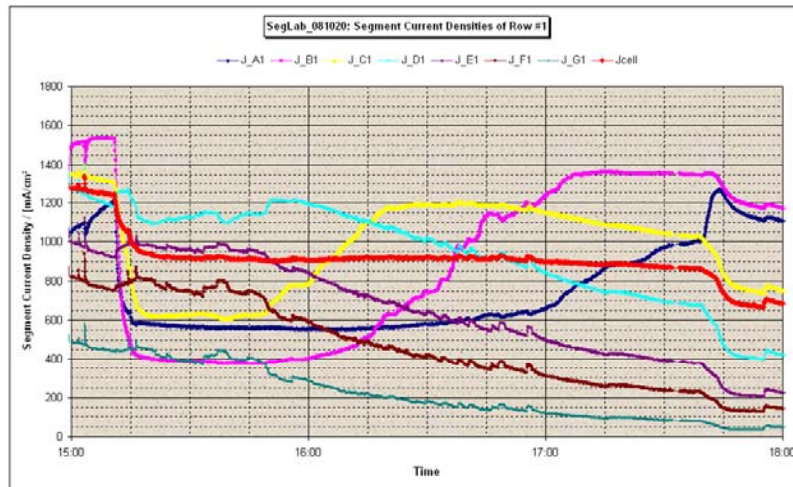


Inlet Region

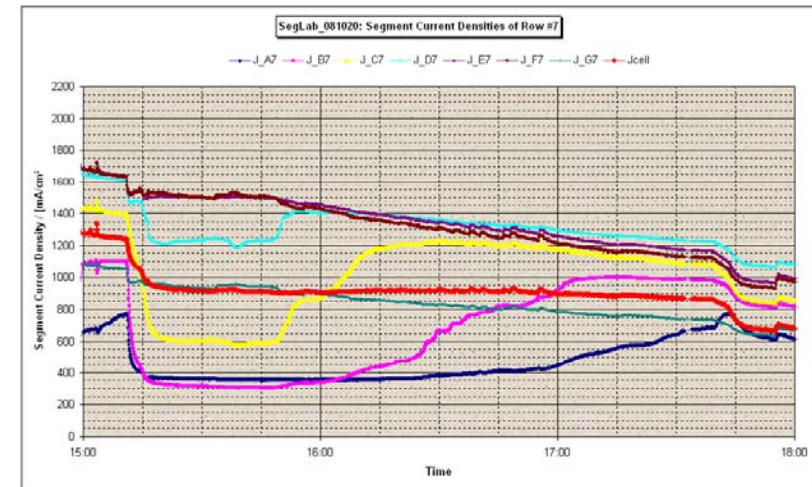
Electrochemical Activity of MEA shifted from inlet region (decrease) to outlet region (increase).
 T cell= T humid Anode = 85°C; T humid Cathode = 68-40°C, F air=900ml/min; F H₂=300ml/min.



Ion Power MEAs: Current distribution measurements - Constant current output while decreasing cathode humidification @ 600 mV



Top Row

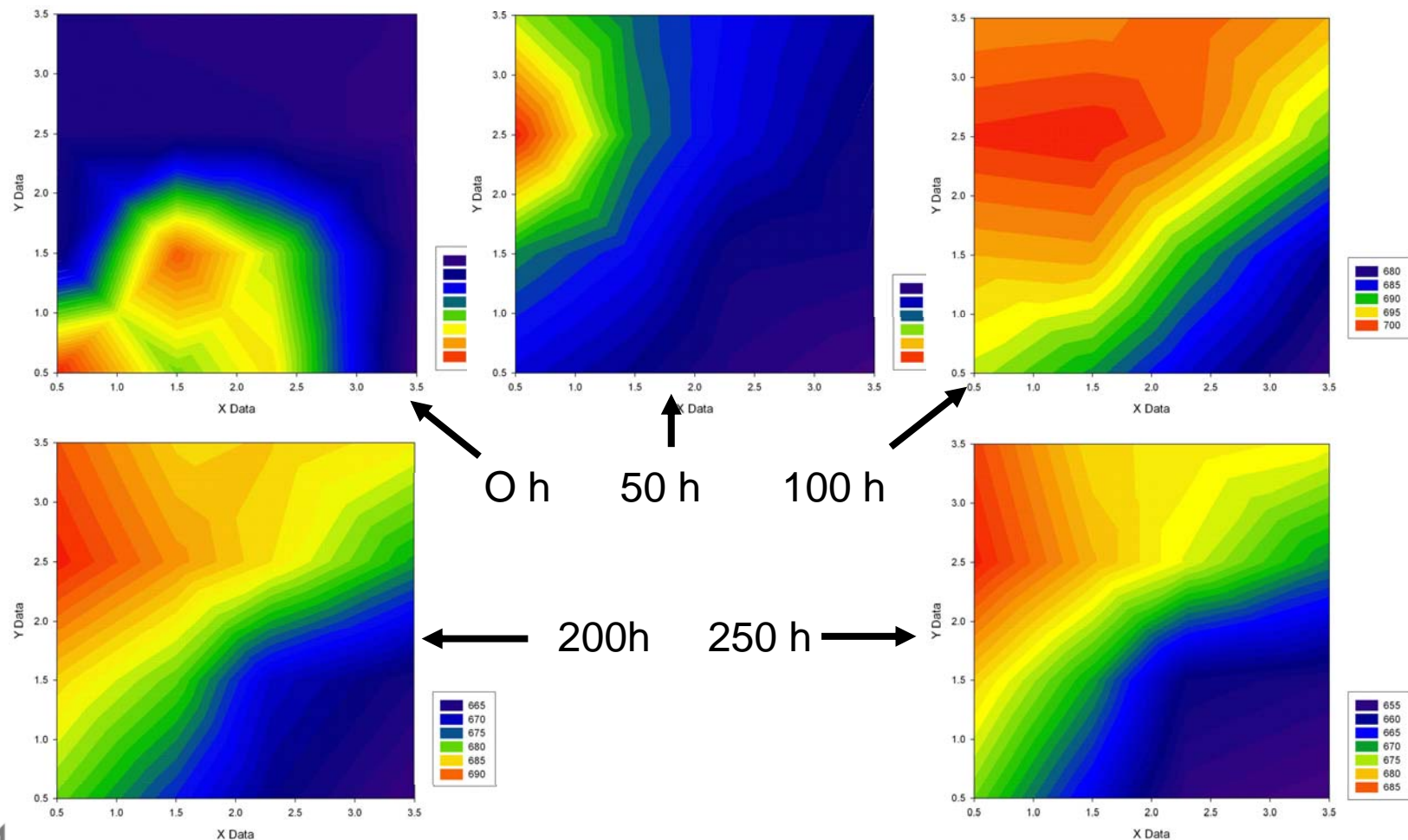


Bottom Row

As a reaction of input change of cathode humidification an internal change of inhomogeneous current distribution occurred while global cell current did not change.

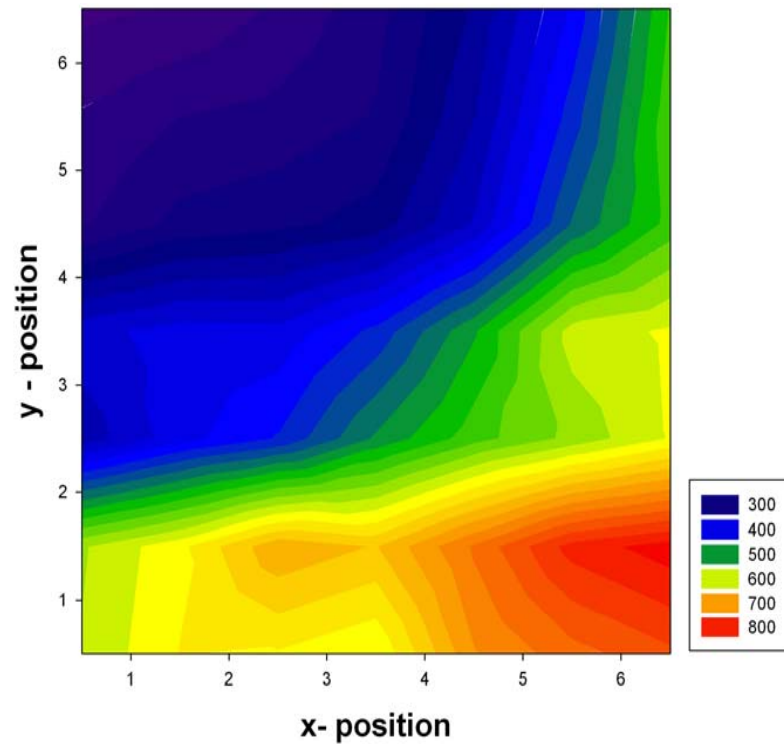
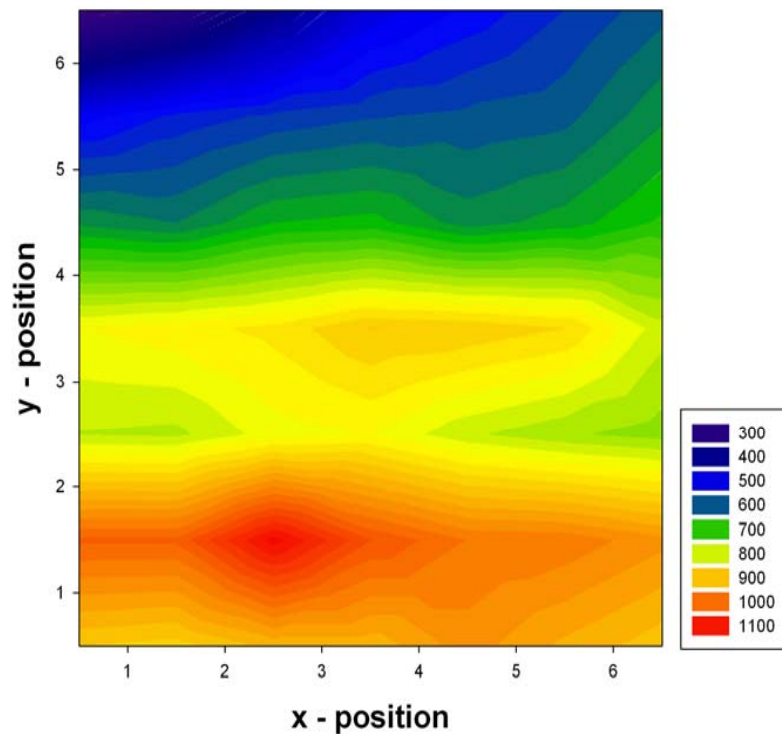


Change of local potential during constant load at 300 mA cm⁻²



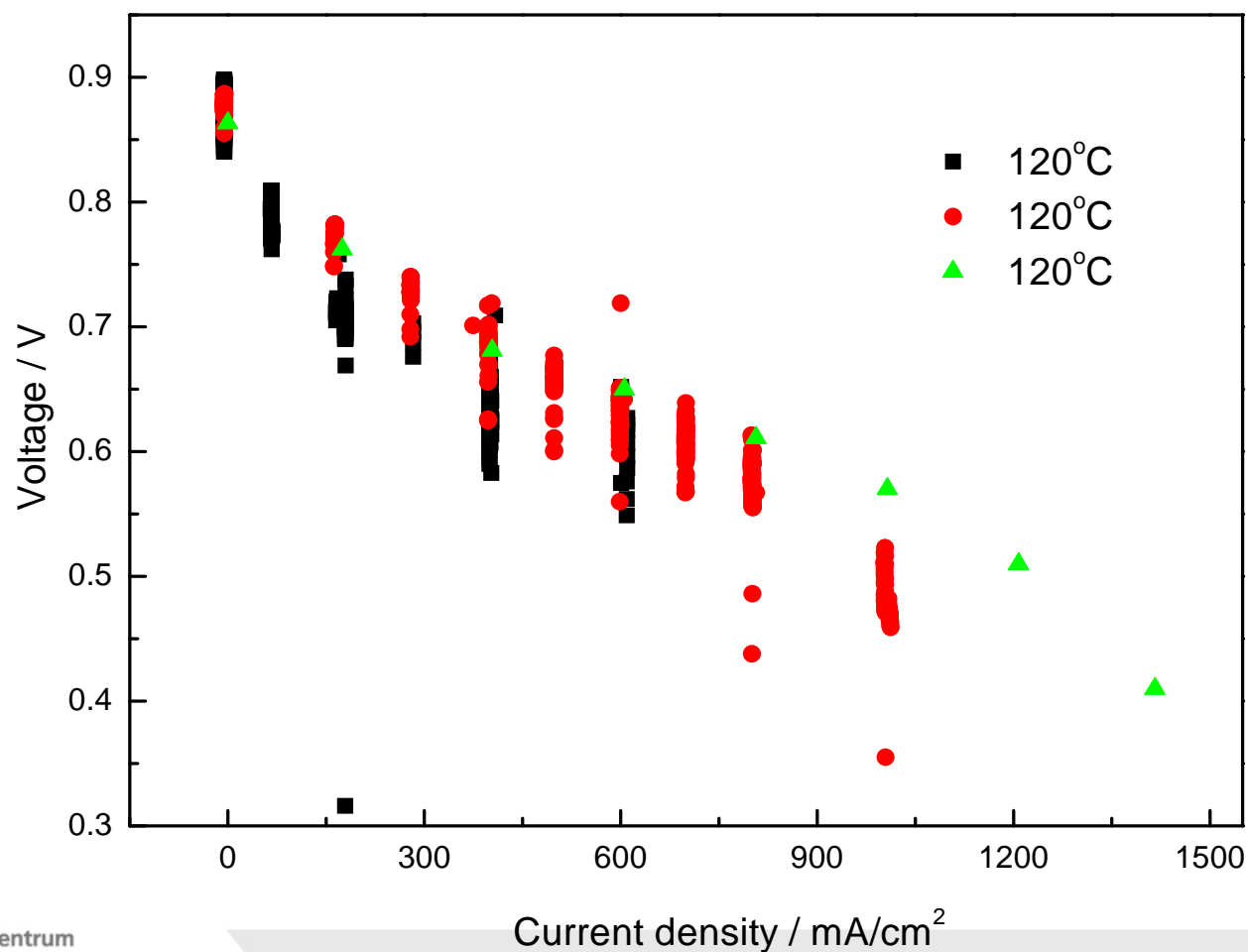


Alteration of the current density distribution during potentiostatic load at 600 mV



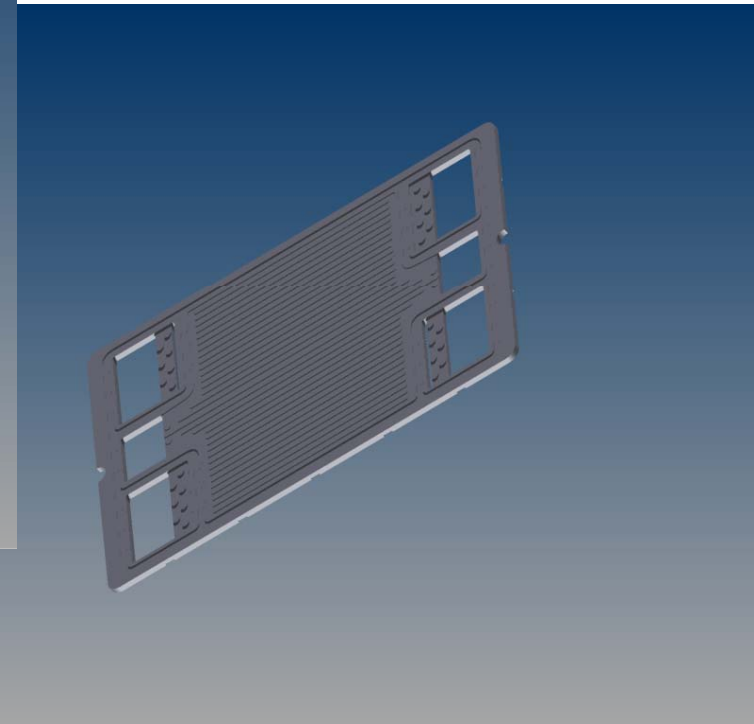
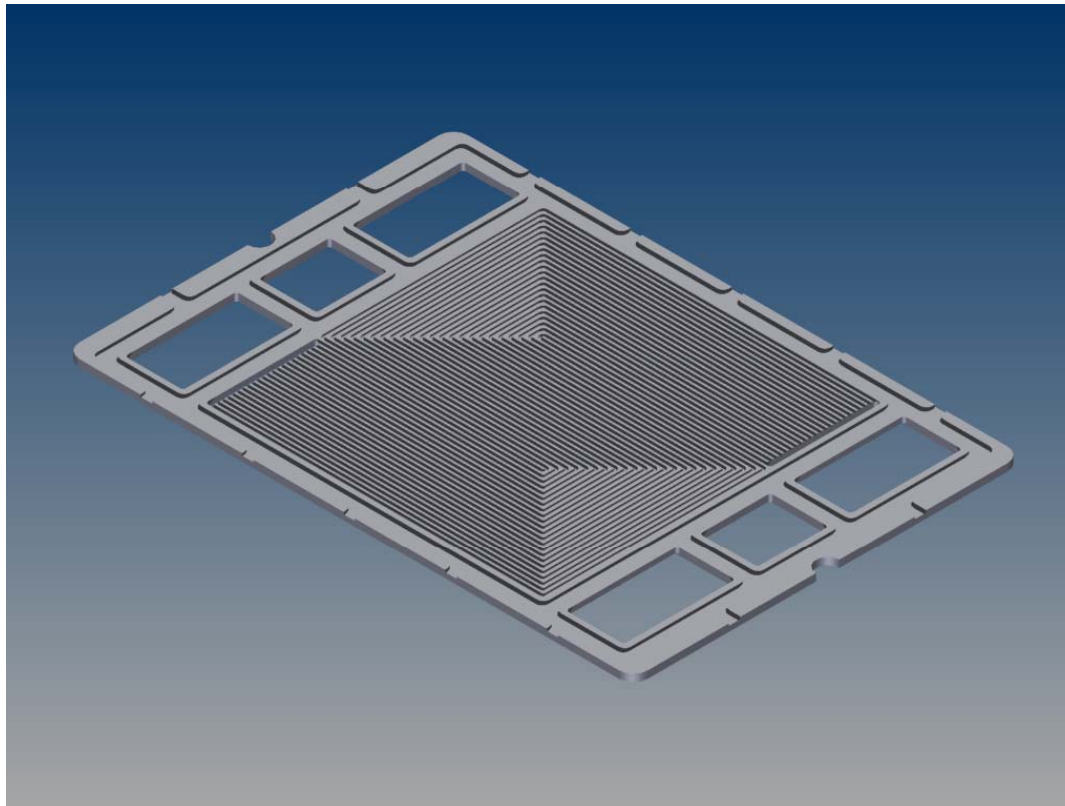


Ion Power MEAs : Polarization curves at 120°C



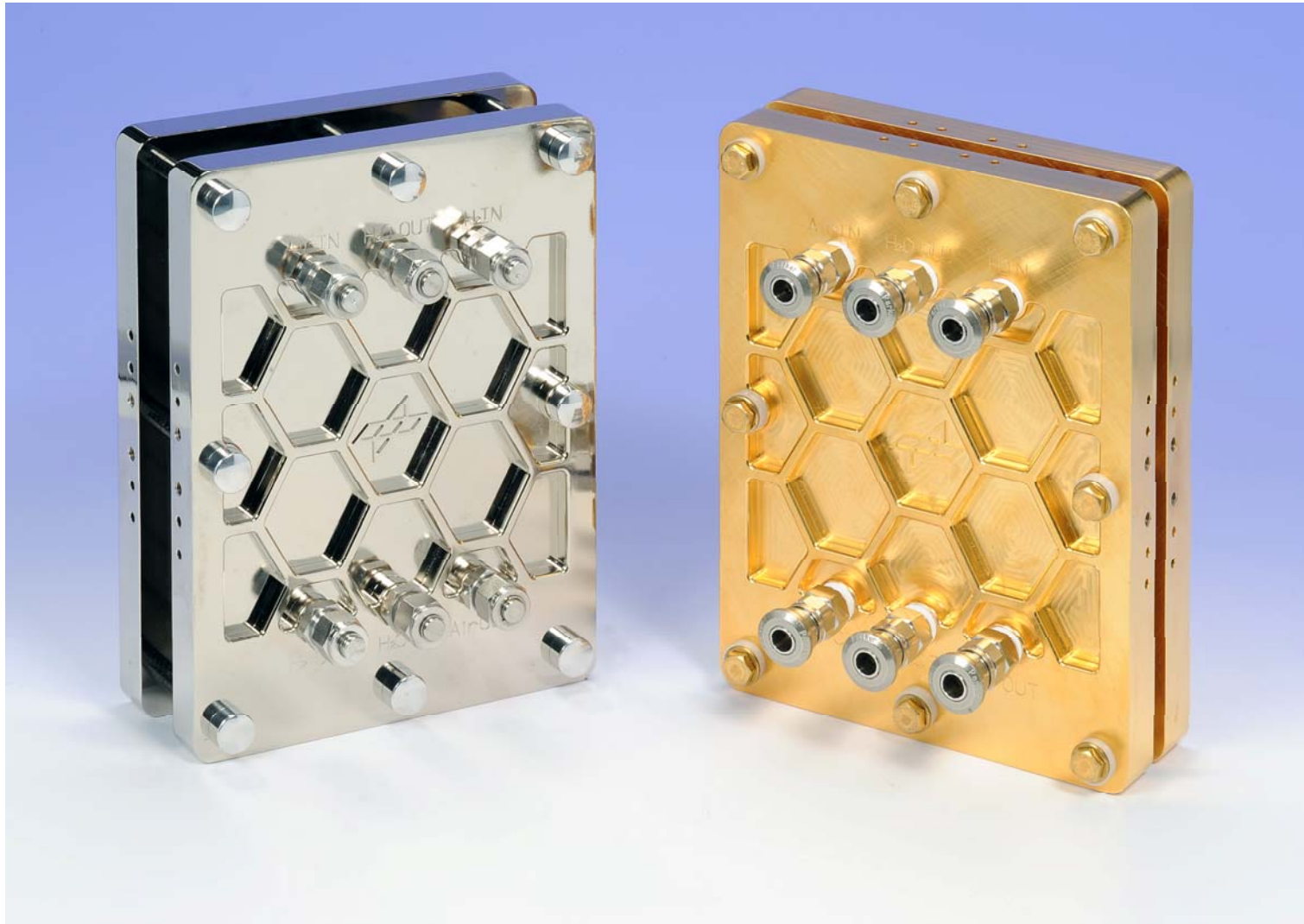


DLR-Stack





DLR Stack





Wichtige Parameter

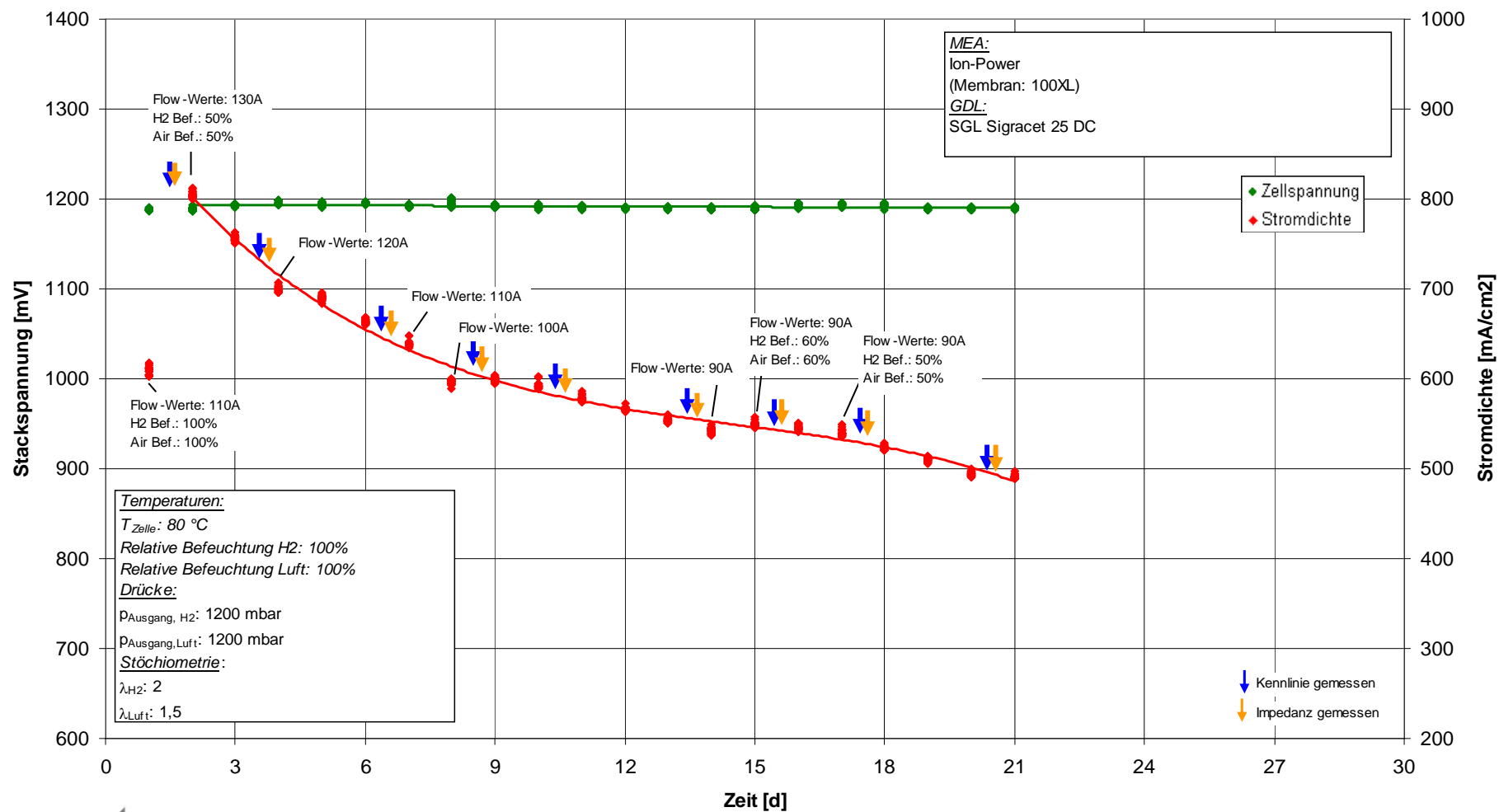
- Feuchte (Membranwiderstand)
- Flutung des Flowfields und / oder Backing
- Lambda
- Spülen /Pulsen
- Temperatur
- Druck





Historie - Langzeitmessung DLR Stack 3

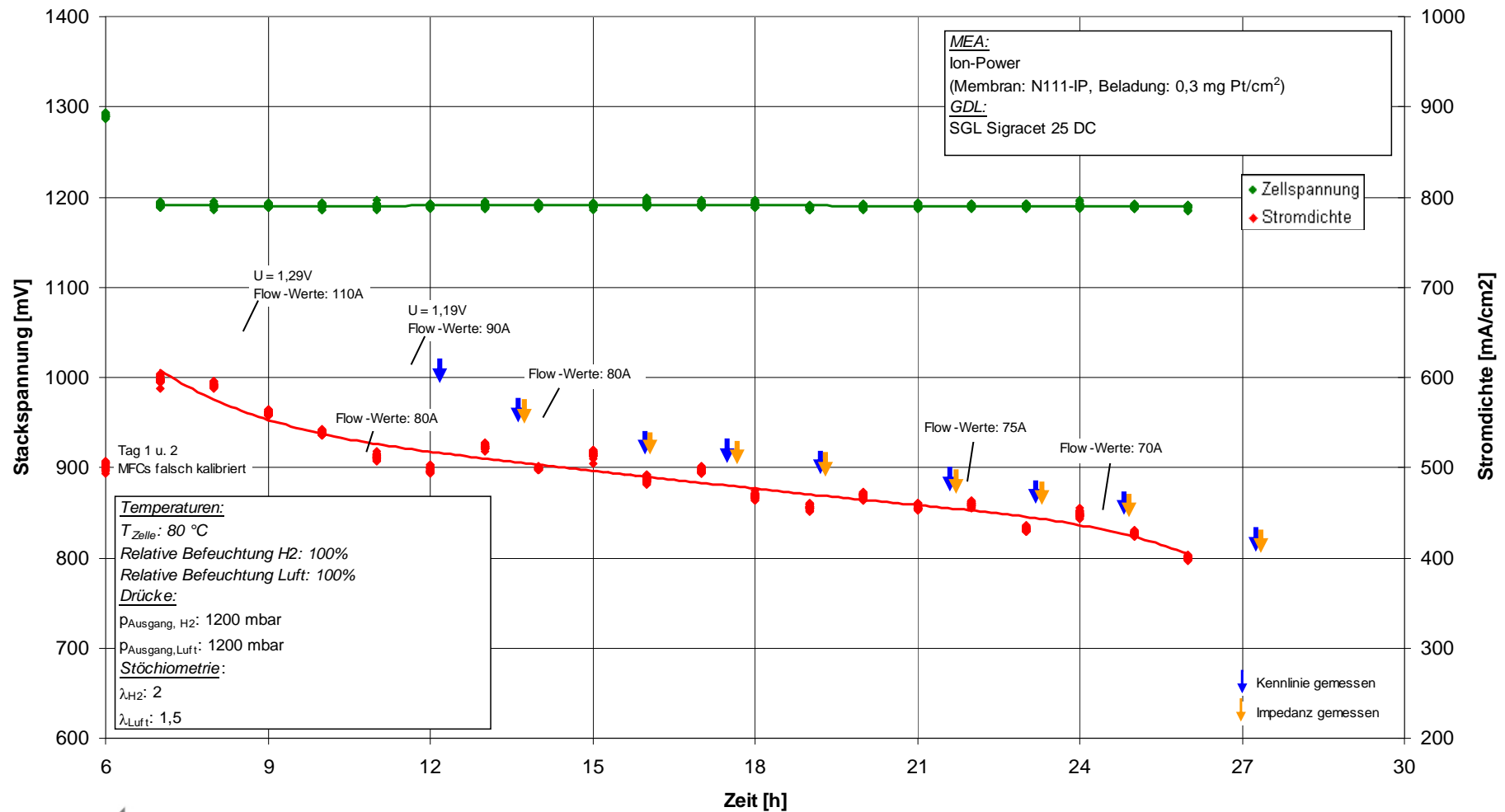
(Vom 30.11. bis 20.12.2010 / 504h)





Historie - Langzeitmessung DLR Stack 1

(Vom 06.10. bis 2.11.2010 / 648h)





Verwendete Messmethoden

- Integrale Elektrochemische Impedanzspektroskopie
- Integrale Stromdichte
- Lokale Elektrochemische Impedanzspektroskopie
- Lokale Stromdichte
- Lokale Temperatur
- Lokale Raman Spektroskopie



Zusammenfassung

Entwicklung von Tools für die Entwicklung von Stacks

- Doppelte segmentierte Biplolarplatte wurde entwickelt
- Kostengünstige lokal EIS wurde mit Lock In entwickelt
- Lokal Raman wurde erstmalig in Kombination mit anderen Lokal aufgelösten Methoden erfolgreich angewandt um Effekte besser verstehen zu können



Zusammenfassung

Entwicklung des Stacks

- Bipolarplattendesign / Dichtungen / **MEAs**
- Prinzipielle Messungen bei 120°C
- Langzeitmessungen im Stack unter 100°C durchgeführt
- Messungen bis 120°C zeigen Machbarkeit



Nächste Schritte

- Zyklische Tests mit 1-Zeller und 8-Zeller laufen
- 2,5 kW und 5 kW Stacks sind in Vorbereitung (Ende 2011)
- Einsatz von zwei 500 W in Flughafen-Vorfeldfahrzeug ist in Vorbereitung (Ende 2011)